



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 195 81 483 B4** 2010.03.11

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **195 81 483.5**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FI95/00658**
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1995/017107**
 (86) PCT-Anmeldetag: **28.11.1995**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **06.06.1996**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **02.01.1997**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **11.03.2010**

(51) Int Cl.⁸: **C23C 16/455** (2006.01)
C30B 25/02 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
945611 **28.11.1994** **FI**

(73) Patentinhaber:
ASM International N.V., Bilthoven, NL

(74) Vertreter:
**Mitscherlich & Partner, Patent- und
 Rechtsanwälte, 80331 München**

(72) Erfinder:
**Suntola, Tuomo, Espoo, FI; Lindfors, Sven, Espoo,
 FI**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

DE	37 43 938	C2
FR	29 67 108	A1
US	40 58 430	A
EP	05 59 326	B1
FI	52 359	C
FI	57 975	C

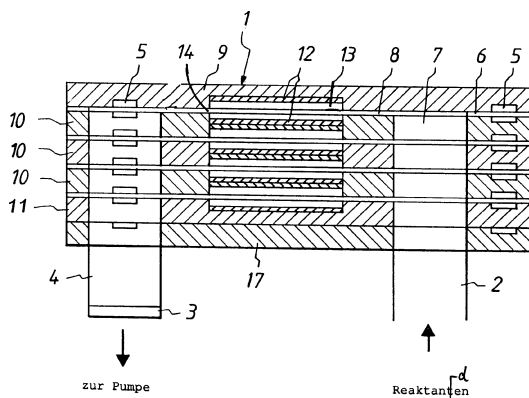
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Bildung von Dünnschichten**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Bildung einer Dünnschicht auf einem Substrat, wobei ein in einem Reaktionsraum (1; 21) angeordnetes Substrat alternierend wiederholten Oberflächenreaktionen von mindestens zwei Gasphasen-Reaktanden unterworfen wird, um eine Dünnschicht zu bilden, welches umfasst:

die Reaktanden in Form von Gasphasenimpulsen wiederholt und alternierend, jeder Reaktand gesondert von seiner eigenen Quelle, in den Reaktionsraum (1; 21) einzubringen, und

die Gasphasen-Reaktanden mit der Oberfläche des Substrates zur Bildung einer Festphasendünnschicht-Verbindung auf dem Substrat zur Umsetzung zu bringen, dadurch gekennzeichnet,

dass das Gasvolumen des Reaktionsraums zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen evakuiert wird, wobei gleichzeitig mit der Evakuierung des Reaktionsraums von den Rückständen des letzten Gasphasen-Reaktandimpulses ein inertes Gas in den Reaktionsraum (1; 21) eingebracht wird, so dass vor dem Zufluss des nachfolgenden Gasphasenimpulses die restlichen Komponenten des vorhergehenden Gasphasen-Reaktandimpulses, die in dem Reaktionsraum oder an den Wänden desselben verbleiben, in einer Menge von weniger als 1% vorhanden sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß des Oberbegriffes von Anspruch 1 zur Bildung von Dünnschichten auf einem Substrat.

[0002] In dem vorliegenden Verfahren liegt das Substrat gewöhnlich in einem Reaktionsraum vor, in dem es gemäß dem Atomlagen-Abscheidungs-Verfahren (Atomic Layer Epitaxy-ALE) alternierend wiederholten Oberflächenreaktionen von mindestens zwei unterschiedlichen Reaktanden unterworfen wird. Gemäß dem vorliegenden Verfahren werden die Reaktanden wiederholt und alternierend, jeweils ein Reaktand einzeln aus seiner eigenen Quelle, in Form von Gasphasenimpulsen in den Reaktionsraum eingebracht. Die Gasphasen-Reaktanden werden hier mit der Substratoberfläche zur Bildung einer Festphasendünnschicht auf dem Substrat umgesetzt gelassen.

[0003] Obwohl das Verfahren am besten zur Herstellung sogenannter Verbund-Dünnschichten geeignet ist, bei der Reaktanden als Ausgangsmaterialien verwendet werden, die die Komponentenelemente der gewünschten Verbund-Dünnschicht enthalten, kann es auch zur Bildung elementarer Dünnschichten verwendet werden. Hinsichtlich gewöhnlich im Stand der Technik verwendeter Verbundschichten, kann Bezug genommen werden auf ZnS-Schichten, die in elektrolumineszenten Anzeigen Verwendung finden, wobei derartige Schichten auf einem Glassubstrat unter Verwendung von Zinksulfid und Schwefelwasserstoff als Reaktanden in dem Herstellungsprozess verwendet werden. Hinsichtlich elementarer Dünnschichten kann Bezug genommen werden auf Siliziumdünnschichten.

[0004] Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 12, die zur Herstellung von Dünnschichten geeignet ist.

[0005] Die Vorrichtung umfasst einen Reaktionsbereich, in den das Substrat angeordnet werden kann und mindestens zwei Reaktandenquellen, von denen die in dem Verfahren zur Bildung von Dünnschichten verwendeten Reaktanden in Form von Gasphasenimpulsen in den Reaktionsbereich eingebracht werden können. Die Quellen werden mit dem Reaktionsbereich über Reaktandenzuflussleitungen verbunden und Abflussleitungen werden an den Reaktionsbereich angebracht, um die die gasförmigen Reaktionsprodukte des Verfahrens zur Bildung von Dünnschichten einzubringen sowie überschüssige Reaktanden in der Gasphase zu entfernen. Gewöhnlich werden Dünnschichten unter Verwendung von Vakuumverdampfungsabscheidung, der Molekularstrahl-Epitaxie (Molecular Beam Epitaxy (MBE)) und anderer Vakuumabscheidungsverfahren, gebildet, unterschiedlichen Varianten des Chemischen Dampfphasenabscheidungs-Verfahrens (Chemical Vapor Deposition (CVD)), einschließlich Niederdruck und metallorganischem CVD und plasma-verstärktem CVD, oder, alternativ, des vorstehend beschriebenen Abscheidungsverfahrens von alternierend wiederholten Oberflächenreaktionen, das Atomic Layer Epitaxy (ALE)-Verfahren genannt wird. In den MBE- und CVD-Verfahren wird, neben anderen Verfahrensvariablen, die Bildungsgeschwindigkeit von Dünnschichten auch durch die Konzentrationen des Zuflusses des Ausgangsmaterials beeinflusst. Um daher eine einheitliche Dicke der Schichten, die gemäß der ersten Kategorie herkömmlicher Verfahren abgeschieden wurden, zu erreichen, müssen die Konzentrationen und Reaktivitäten der Ausgangsmaterialien über den Substratbereich sorgfältig konstant gehalten werden. Werden die Ausgangsmaterialien vor Erreichen der Substratoberfläche vermischt, wie es beispielsweise bei dem CVD-Verfahren der Fall ist, können diese vorzeitig miteinander reagieren. Folglich ist das Risiko der Bildung von Kleinstteilchen bereits in den Zuflussleitungen der gasförmigen Reaktanden vorhanden. Derartige Kleinstteilchen haben für die Qualität der Bildung der Dünnschicht schwerwiegende Folgen. Die Möglichkeit vorzeitiger Reaktionen in MBE- und CVD-Reaktoren wird daher dadurch verhindert, dass die Ausgangsmaterialien nicht vor der Substratoberfläche erhitzt werden. Zusätzlich zum Erhitzen kann die gewünschte Reaktion unter Verwendung von beispielsweise Plasma oder anderen, ähnlich aktivierenden Mitteln initiiert werden.

[0006] In den MBE- und CVD-Verfahren wird die Bildung von Dünnschichten hauptsächlich durch Steuern der Zuflussmengen der Ausgangsmaterialien reguliert, die auf das Substrat auftreffen. Ein derartiges CVD-Verfahren zur Bildung von Dünnschichten auf Halbleitern wird beschrieben in der Patentschrift EP-0-559-326 B1. Im Gegensatz dazu basiert das ALE-Verfahren darauf, dass die Abscheidung über die Oberflächenbeschaffenheit anstatt über die Konzentrationen des Ausgangsmaterials oder der Zuflussvariablen der Substratoberflächenqualität, gesteuert wird. Die einzige Voraussetzung in dem ALE-Verfahren besteht darin, dass das Ausgangsmaterial zur Bildung von Dünnschichten in ausreichender Konzentration auf allen Seiten des Substrates vorhanden ist.

[0007] Das ALE-Verfahren ist in den FI-Patentveröffentlichungen 52,359 und 57,975, den US-Patentschriften

US-4-058-430 A, US-4-389-973 A, US-4-975-252 A und US-5-503-105 A, sowie in der deutschen Patentschrift DE 37-43938 C2 beschrieben, in denen auch einige Ausführungen für eine Vorrichtung offenbart sind, die zur Durchführung dieses Verfahrens geeignet sind. Vorrichtungskonstruktionen zur Bildung von Dünnschichten sind auch in den folgenden Veröffentlichungen zu finden: Material Science Reports 4(7) (1989), S. 261, und Tyhjiöte-kniikka (finnische Publikation für Vakuumtechniken), ISBN 951-794-422-5, S. 253–261.

[0008] In dem ALE-Verfahren werden Atome oder Moleküle so angeordnet, dass sie die Substrate überstreichen und somit kontinuierlich auf deren Oberfläche aufprallen, so dass eine vollständig gesättigte molekulare Schicht darauf gebildet wird. Gemäß den aus der FI-Patentveröffentlichung 57,975 bekannten konventionellen Techniken folgt auf den Sättigungsschritt ein Impuls mit einem Inertgas, das eine Diffusionsbarriere bildet, die überschüssiges Ausgangsmaterial und die gasförmigen Reaktionsprodukte oberhalb des Substrates entfernt. Die aufeinander folgenden Impulse der unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Diffusionsbarrieren eines Inertgases, das die vorher genannten voneinander trennt, bewirken die Bildung der Dünnschicht in einer Geschwindigkeit, die durch die chemischen Oberflächeneigenschaften der unterschiedlichen Materialien gesteuert wird. Ein derartiger Reaktor wird „Wanderwellen“-Reaktor genannt. Zur Durchführung des Verfahrens ist es nicht von Bedeutung, ob die Gase oder die Substrate bewegt werden. Es ist vielmehr wichtig, dass die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien der nachfolgenden Reaktionsschritte voneinander getrennt werden und so angeordnet werden, dass sie nacheinander auf das Substrat treffen.

[0009] Die meisten Vakuumverdampfer arbeiten nach dem sogenannten „Einzelschuss“-Prinzip. Hier kann eine verdampfte Atom- oder Molekül-Spezies auf dem Substrat nur einmal auftreffen. Tritt keine Reaktion der Spezies mit dem Substrat ein, wird die Spezies zurückgeworfen oder erneut verdampft, so dass es die Wände der Vorrichtung trifft oder die Einlassöffnung zur Vakuumpumpe, wo sie kondensiert. In Reaktoren mit heißen Wänden kann eine Atom- oder Molekül-Spezies, die auf die Reaktorwand oder das Substrat trifft, erneut verdampft werden, wobei vorteilhafte Bedingungen für wiederholtes Auftreffen der Spezies auf das Substrat gebildet werden. Bei Anwendung auf ALE-Reaktoren kann dieses „Mehrschuss“-Prinzip unter anderem eine verbesserte Materialverwendungsausnutzung liefern.

[0010] Eine kennzeichnende Eigenschaft von herkömmlichen ALE-Vorrichtungen ist, dass die unterschiedlichen Ausgangsmaterialien der Reaktion voneinander mittels einer Diffusionswand isoliert wird, die durch einen Bereich eines Inertgases gebildet wird, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen der Ausgangsmaterialien wandert (siehe beispielsweise die vorstehend aufgeführte FI-Patentveröffentlichung 57,975 und die entsprechende US-4,389,973 A). Die Länge des Inertgas-Bereiches, die als hinunterströmende Diffusionswand wirkt, ist dergestalt, dass nur etwa ein Millionstel der Moleküle des Reaktandengases eine ausreichende Diffusionsgeschwindigkeit aufweist, um unter den vorherrschenden Bedingungen in einer gegen den Strom gerichteten Richtung auf einer Strecke zu wandern, die größer ist als die Dicke der in dem Verfahren verwendeten isolierenden Diffusionswand.

[0011] Trotz der hohen Verlässlichkeit der vorstehend beschriebenen Anordnung weist diese jedoch einige Nachteile auf. Beispielsweise variieren die Querschnitte und Formen von Leitungen in praktischen Reaktorkonstruktionen zwischen beispielsweise den Zuflussrohren und den Substraten, wobei die Dicke und die Form der Diffusionswand schwer steuerbar wird, und die Ausgangsmaterialien hindurchgelangen und jeweils miteinander in Kontakt treten können. Weiterhin kann die Diffusionswand in den Düsen, die die Gasphasen-Reaktanden zu den Substraten führen, in Gasmischern oder an anderen Diskontinuitätspunkten der Leitung zerstört werden. Die Laminarität des Gaszuflusses kann zudem durch ein zu starkes Biegen der Leitung gestört werden.

[0012] Ein Vermischen von Ausgangsmaterialien in Strömungssystemen kann nicht einfach dadurch verhindert werden, dass die Gasvolumina voneinander getrennt gehalten werden, da ein Vermischen auch aufgrund der Adhärenz von Molekülen eines Ausgangsmaterial-Impulses an den Vorrichtungswänden oder Ungleichmäßigkeiten davon vorkommen kann, wodurch die Moleküle dann mit den Molekülen des nachfolgenden Ausgangsmaterial-Impulses Zutritt erlangen können.

[0013] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Nachteile der herkömmlichen Technik zu umgehen und eine vollständig neue Anordnung zur Bildung von Dünnschichten zu liefern.

[0014] Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, dass Gasphasenimpulse von Ausgangsmaterial-Reaktanden in den ALE-Reaktor eingebracht werden, so dass jeder Ausgangsmaterial-Impuls für sich durch die Leitung und den Reaktionsraum der Vorrichtung, isoliert von den anderen Impulsen, geleitet wird. Erfindungsgemäß wird dieses Konzept mittels im Wesentlichen vollständigem Spülen des Gasvolumens des Reaktions-

raumes, der das reaktive Gas enthält, zwischen zwei aufeinander folgenden Gasphasenimpulsen, erreicht, was eine Spülwirksamkeit von mindestens 99%, vorzugsweise 99,99% bedeutet. Das gesamte reagierende Gas, was in der Praxis das gesamte, mit dem Gasphasen-Reaktanden gefüllte Gasvolumen betrifft, wird aus dem Reaktionsraum zwischen den aufeinander folgenden Impulsen gespült. Die Reaktanden-Impulse der unterschiedlichen Ausgangsmaterialien werden daher voneinander getrennt gehalten, wobei kein Mischen der Reaktanden erfolgen kann.

[0015] In der zur Durchführung des Verfahrens geeigneten Vorrichtung werden die Abflussleitungen mit einer Pumpe verbunden, die zur Evakuierung des Reaktionsraumes auf Vakuum befähigt ist, wobei die Pumpenkapazität ausreichend hoch ausgelegt ist, um eine vollständige Evakuierung einer volumetrischen Gasmenge, die dem Gasvolumen des Reaktionsbereiches entspricht, aus dem Reaktionsbereich, während des Intervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen, zu ermöglichen. Infolgedessen muss die Pumpe eine volumetrische Strömungskapazität pro Zeiteinheit aufweisen, vorteilhaft über das Intervall zwischen zwei aufeinander folgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen, die größer ist als das Gasvolumen des Reaktionsbereiches.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren ist insbesondere hauptsächlich durch das gekennzeichnet, was in dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 aufgeführt ist.

[0017] Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Vorrichtung hauptsächlich dadurch gekennzeichnet, was in dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 12 aufgeführt ist.

[0018] Im Hinblick auf die vorliegende Erfindung wird der Ausdruck „Evakuierung“ verwendet, um generell die Entfernung von Reaktandenresten in der Gasphase zu bezeichnen. Die Evakuierung des Reaktionsbereiches kann durch Spülen des Gasvolumens der Vorrichtung mittels mindestens einem Pumpzyklus erreicht werden, der zur Senkung des inneren Druckes in der Vorrichtung auf ein ausreichend hohes Vakuum befähigt ist. Wenn erforderlich, kann die Vorrichtung gleichzeitig mit einem inaktiven Gas gefüllt werden, die das Spülen der Reaktandenreste aus dem Reaktionsbereich fördert.

[0019] In dem hier vorliegenden Zusammenhang wird der Ausdruck „Inaktives“ Gas verwendet, um ein Gas zu bezeichnen, das in den Reaktionsbereich eingelassen wird und das dazu befähigt ist, unerwünschte Reaktionen hinsichtlich der Reaktanden bzw. des Substrates zu verhindern. Derartige Reaktionen beinhalten beispielsweise die Reaktionen der Reaktanden und des Substrats mit möglichen Verunreinigungen. Das inaktive Gas dient zudem dazu, Reaktionen zwischen den Substanzen der unterschiedlichen Reaktandengruppen in beispielsweise der Zuflussleitung zu verhindern. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das inaktive Gas zudem vorteilhafterweise als Trägergas der Gasphasen-Reaktandimpulse verwendet. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, in der die Reaktanden der unterschiedlichen Reaktandengruppen über getrennte Einlassverteiler in den Reaktionsbereich gelassen werden, wird der Gasphasen-Reaktandimpuls aus einer Zuflussleitung zugeführt, während das inaktive Gas aus einer anderen Zuflussleitung zugeführt wird, wobei verhindert wird, dass der zugeführte Reaktand in die Zuflussleitung eines anderen Reaktanden gelangt. Hinsichtlich der inaktiven Gase, die für die Verwendung in dem Verfahren geeignet sind, kann Bezug genommen werden auf Inertgase wie Stickstoffgas und Edelgase, beispielsweise Argon. Das inaktive Gas kann zudem ein eigentlich reaktives Gas sein, wie Wasserstoffgas, das zur Verhinderungen unerwünschter Reaktionen (beispielsweise Oxidationsreaktionen) auf der Substratoberfläche dient.

[0020] Erfindungsgemäß beinhaltet der Ausdruck „Reaktionsraum“ sowohl den Raum, in dem das Substrat angeordnet ist, als auch den Raum, in dem die Gasphasen-Reaktanden zur Bildung von Dünnschichten mit dem Substrat umgesetzt werden (d. h. die Reaktionskammer), sowie die Gaszufluss-/abflussleitungen, die unmittelbar mit der Reaktionskammer in Verbindung stehen, wobei die Leitungen zum Einbringen der Reaktanden in die Reaktionskammer (Zuflussleitungen) oder Entfernen gasförmiger Reaktionsprodukte des Verfahrens zur Bildung von Dünnschichten und überschüssiger Reaktanden aus der Reaktionskammer (Abflussleitungen) dienen. Gemäß der Konstruktion einer Ausführungsform kann die Zahl der Zufluss- bzw. Abflussleitungen von eins aufwärts variiert werden. Erfindungsgemäß ist der Reaktionsraum das Gesamtvolumen, das zwischen zwei aufeinander folgenden Gasphasenimpulsen evakuiert werden soll.

[0021] In dem vorliegenden Zusammenhang betrifft der Ausdruck „Reaktand“ ein verdampfbares Material, das mit der Substratoberfläche reagieren kann. In dem ALE-Verfahren werden gewöhnlich Reaktanden verwendet, die zwei verschiedenen Gruppen angehören. Die Reaktanden können Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase sein. Der Ausdruck „metallische Reaktanden“ wird für metallische Verbindungen verwendet, die sogar elementare Metalle sein können. Geeignete metallische Reaktanden sind die Metallhalogenide, einschließlich

beispielsweise Chloride und Bromide, und metallorganische Verbindungen, wie die thd-Komplexverbindungen. Als Beispiele für metallische Reaktanden können Zn, ZnCl_2 , TiCl_4 , Ca(thd)_2 , $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ und Cp_2Mg genannt werden. Der Ausdruck „nichtmetallische Reaktanden“ wird für Verbindungen und Elemente verwendet, die zur Umsetzung mit metallischen Verbindungen befähigt sind. Die zuletzt genannte Gruppe ist zweckmäßig durch Wasser, Schwefel, Schwefelwasserstoff und Ammoniak dargestellt.

[0022] Der Ausdruck „Substratoberfläche“ wird hier verwendet, um die Oberfläche des Substrates zu bezeichnen, auf die der in die Reaktionskammer strömende Gasphasen-Reaktand zuerst trifft. In der Praxis besteht diese Oberfläche während des ersten Zyklus des Verfahrens zur Bildung der Dünnschicht aus der Oberfläche des Substrates, wie beispielsweise Glas. Während des zweiten Zyklus besteht die Oberfläche aus der Schicht, die das Festphasenreaktionsprodukt umfasst, die durch die Reaktion zwischen den Reaktanden abgeschieden wurde und an dem Substrat haftet, usw.

[0023] Wie vorstehend erwähnt, werden die Gasphasen-Reaktanden in einer praktischen Ausführungsform durch einen Trägergasstrom in herkömmlicher Art und Weise in die Reaktionskammer eingebracht und weiter durch diese hindurch geführt. Der Gasphasen-Reaktand aus einer Quelle wird daher mit dem Inertgasstrom an einem Punkt der Vorrichtung vermischt. In der vorliegenden Ausführungsform beinhaltet der Ausdruck „Reaktionsraum-Gasstromleitungen“ auch den Teil der Reaktand-Zuflussleitungen, der nach den Steuerungsventilen des inaktiven Gasstromes angeordnet ist.

[0024] Eine kennzeichnende Eigenschaft der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die verschiedenen Ausgangsmaterialien nicht gleichzeitig in der Leitung oder dem Reaktor (Reaktionsraum) strömen gelassen werden, sondern dass die Leitung und der Reaktionsraum von dem Inhalt des vorhergehenden Gasphasenimpulses vor dem Einbringen des nächsten Gasphasenimpulses evakuiert wird. Das Intervall zwischen den aufeinander folgenden Impulsen wird vorteilhaft so lang gehalten, dass die Evakuierung des Reaktionsraumes unter Verwendung von mindestens einem doppelten oder dreifachen Volumen an Spülgas während des Intervalls zwischen den Impulsen ermöglicht wird. Um eine maximal wirksame Evakuierung von Reaktanden-Rückständen zu erreichen wird der Reaktionsraum während des Intervalls zwischen den Reaktandimpulsen mit einem inaktiven Gas gespült, wobei das Gesamtvolumen an während des Intervalls zwischen den Reaktandimpulsen aus dem Reaktionsraum evakuierten Gases mindestens zwei- bis zehnmal das Volumen des Reaktionsraumes beträgt. Ein erwünschter Zielwert von weniger als 1%, vorteilhafterweise weniger als 1% an verbleibenden Komponenten des vorhergehenden Gasphasen-Reaktandimpulses, der bei der Beschickung mit dem nächsten Impuls verbleibt, kann für die Evakuierungswirksamkeit festgelegt werden. Ein erfindungsgemäßer Betrieb kann leicht eine Situation erreichen, bei der der Reaktionsraum auf weniger als 1 ppm an Reaktand-Rückständen aus dem vorhergehenden Impuls gespült wird.

[0025] Erfindungsgemäß wird die Evakuierung vorteilhafterweise durch Verbinden des Reaktionsraumes mit einer Pumpe erreicht, deren Volumenkapazität während des Intervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen erheblich größer ist als das Gasvolumen des Reaktionsbereiches. Da das Intervall zwischen zwei aufeinander folgenden Reaktandengas-Impulsen gewöhnlich im Bereich von 1 Sek. liegt, kann dieses Erfordernis durch Verbinden einer derartigen Pumpe mit dem Reaktionsbereich erreicht werden, die eine ausreichende Kapazität aufweist, um während des Intervalls eine Volumenmenge an Gas zu evakuieren, die vorteilhafterweise mindestens zwei- bis dreimal und besonders vorteilhaft vier- bis zehnmal das Volumen des Reaktionsraumes beträgt.

[0026] Die Erfindung kann unter Verwendung jeder geeigneten Pumpe durchgeführt werden, die ein ausreichendes Vakuum in dem Reaktionsbereich schafft und eine ausreichende Kapazität aufweist. Beispiele für geeignete Pumpentypen sind: Umlaufvakuumpumpe, Walzkolbenpumpe und Turbopumpe.

[0027] Um eine ausreichende Evakuierung zu erreichen, besitzt die erfindungsgemäße Vorrichtung ein Merkmal, das durch auf ein Minimum beschränkte Volumina und Leitungsquerschnitte gekennzeichnet ist, die in einer Konstruktion mit einer auf ein Minimum beschränkten Zahl von Nähten verwirklicht sind. Die Leitungsgestaltung zielt darauf ab, jegliche Strukturen zu vermeiden, die die Laminarität des Strommusters stören könnten oder als schwer spülbare Gastaschen wirken.

[0028] In herkömmlichen Ausrüstungskonstruktionen sind die vorstehend beschriebenen Ziele schwierig zu erreichen, da die Gasvolumina in der Ausrüstung im Verhältnis zu dem durch die Produkte besetzten Volumina relativ groß sind und der Gasstrom über komplizierte Wege erfolgt. Es ist klar, dass aufgrund lediglich einer Diffusionswand nicht alle darin enthaltenen Gastaschen gespült werden können. Die Probleme werden in einer Ausrüstung, die gleichzeitig zum Wachstum einer Dünnschicht auf mehreren Substraten ausgerichtet ist, noch

verstärkt.

[0029] Die vorliegende Erfindung offenbart viele spezielle Eigenschaften, die dazu beitragen, das Gasvolumen der Vorrichtung und die Neigung zur Bildung von abblätternden Schichten (Kleinstteilchen) auf ein Minimum zu reduzieren. Die Erfindung liefert gleichzeitig eine besonders vorteilhafte Ausführungsform einer Vorrichtung, die zur gleichzeitigen Abscheidung von Dünnschichten auf zwei oder mehreren Substraten geeignet ist.

[0030] Eine vorteilhafte Vorgehensweise zur Reduzierung der Verunreinigung der Ausrüstung besteht darin, jede Reaktandengruppe über getrennte Zuflussleitungen direkt in die Kammer zu bringen. Der Reaktand wird vorzugsweise mit einem Trägergasstrom, der aus der Zuflussleitung einer anderen Reaktandengruppe kommt, vor dem Inkontakttreten des Reaktanden mit dem Substrat gemischt. Der Zweck eines derartigen Mischens ist es, den Gasstrom, der über das Substrat streicht, zu homogenisieren.

[0031] Die vorstehend beschriebene Ausführungsform ist insbesondere für Verfahren zur Bildung von Dünnschichten gut geeignet, wobei mindestens zwei Verbindungskomponenten-Reaktanden verwendet werden. Die Ausgangsenden der Zuflussleitungen der verschiedenen Reaktandengruppen, später im Text als Reaktand-„Einströmöffnungen“ bezeichnet, sind so angepasst, dass sie sich nahe des Substrats der Strukturen der Dünnschicht in die Reaktionskammer öffnen. Zwischen den Einströmöffnungen wird hier eine Aufprallplatte angeordnet, die verhindert, dass der Reaktandenfluss aus einer Einströmöffnung direkt in die Einströmöffnung eines anderen Reaktanden, der zu einer anderen Reaktandengruppe gehört, gelangt. Um das Risiko der Reaktandenverunreinigung zu eliminieren wird hierzu besonders vorteilhaft ein Trägergasstrom durch die Zuflussleitung oder -leitungen geführt, welche in diesem Moment nicht für das Einbringen eines Reaktanden verwendet wird/werden. Die Reaktanden-Einströmöffnungen werden vorzugsweise auf gegenüberliegenden Seiten der Aufprallplatte angeordnet und die einströmenden Reaktanden werden senkrecht auf die Platte gerichtet, wobei sich der Gasstrom in einer im wesentlichen planaren Strömung verteilt und ein „abgeflachtes“ Strömungsmuster hervorruft. Der Trägergasstrom und der Dampfphasen-Reaktandenstrom, welche von entgegengesetzten Richtungen kommen und durch Auftreffen auf die Aufprallplatte abgeflacht sind, werden vereinigt, bevor ihre gemischte Strömung mit dem Substrat in Kontakt tritt. Es wurde gefunden, dass das Vermischen unterschiedlicher Spezies durch Diffusion zwischen den abgeflachten Gasströmen äußerst wirksam ist, was zu einer ausgezeichneten Einheitlichkeit des zu dem Substrat gebrachten Gasstromes führt.

[0032] Gemäß einer alternativen Ausführungsform wird das Gasvolumen der Vorrichtung auf ein Minimum reduziert, indem die Gasstromleitungen, die mit der Reaktionskammer in Kontakt stehen, einen engen, länglichen Querschnitt aufweisen, um das Volumen in dem Reaktionsbereich auf ein Minimum zu reduzieren. Die Gasstromleitungen besitzen daher eine „flache“ Form, die ein ähnlich abgeflachtes Gasstrommuster hervorrufen kann, wie in der Anordnung der vorstehend beschriebenen Ausführungsform.

[0033] Die erfindungsgemäßen flachen Gasstromleitungen weisen gewöhnlich einen Querschnitt mit einer Weite (orthogonal zu der Flussrichtung der Gasimpulsfront) von etwa ein- bis hundertmal mehr als die Leitungshöhe auf. Das Weite-zu-Höhe-Verhältnis beträgt vorteilhaft etwa 5:1–50:1, gewöhnlich etwa 30:1–5:1.

[0034] In beiden der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen ist die Reaktionskammer, die das Substrat beinhaltet, insbesondere vorteilhaft angeordnet, damit die Kammerwände nahe an dem zu verarbeitenden Substrat liegen. Die innere obere Kammerwand liegt vorteilhaft parallel zu der oberen Substratoberfläche. Tatsächlich kann, wie vorstehend erwähnt, die innere obere Kammerwand aus einem anderen Substrat bestehen. Eine Minimierung des Gasvolumens in der Vorrichtung verbessert die Einsatzeffizienz der Reaktanden, da ein einzelner Reaktionsraum gleichzeitig zur Bildung von Dünnschichten auf mindestens zwei Substraten verwendet werden kann. Erfindungsgemäß kann diese Anordnung dadurch erreicht werden, dass die Substrate in getrennte Reaktionskammern überführt werden, die vertikal oder horizontal gestapelt sind, um eine Reaktionskammer-Packung zu liefern, in der die Kammern herkömmliche Gasstromleitungen aufweisen, um das Gesamtvolumen des Reaktionsbereiches auf ein Minimum zu beschränken. Die Zahl der vertikal oder horizontal gestapelten Reaktionskammern kann 2 bis 100 betragen und, da jede der Kammern zur Verarbeitung von mindestens zwei Substraten gleichzeitig verwendet werden kann, kann die Gesamtzahl an Oberflächen mit Dünnschichten, die verarbeitet werden, beispielsweise im Bereich von 2 bis 200 variiert werden.

[0035] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung vertikal oder horizontal gestapelte planare Elemente, wobei die Elemente Vertiefungen/Furchen aufweisen, die den Reaktionskammern entsprechen und Gasstromleitungen, die zu diesen führen, wobei mindestens eine Anzahl dieser Elemente identisch sind. Die Eckbereiche der planaren Elemente werden mit runden oder alter-

nativ länglichen Kerben und Öffnungen versehen, die sich durch die planaren Elemente erstrecken und die Gasstromleitungen des Reaktionsraumes bilden, wenn die planaren Elemente vertikal oder horizontal gestapelt werden, um eine Reaktionskammer-Packung zu bilden. Die Zahl der runden Öffnungen auf der Seite des Reaktandenzuflusses beträgt vorzugsweise eins pro jeweiliger Reaktandengruppe, was in der Praxis zwei Öffnungen bedeutet. Die Zahl der erforderlichen länglichen Öffnungen auf der Zuflussseite beträgt nur eins.

[0036] Die zentralen Teile der planaren Elemente können mit Bereichen versehen werden, die bezüglich der Elementebene vertieft sind, so dass die Vertiefungen an deren Reaktandenzufluss- bzw. -abflusseiten mit den Kerben oder Öffnungen verbunden sind. Die vertieften Bereiche bilden die Reaktionskammer des Reaktionsbereiches oder einen Teil davon. Die Strömungsverbindungen zwischen den vertieften Bereichen und den Gasstromleitungen wirken als Beschränkung für die Gasströme. Die vertieften Bereiche des Elementes können so tief gemacht werden, dass sie sich durch die gesamte Dicke des planaren Elementes erstrecken und das zentrale Element offen lassen. Vorteilhafterweise entsprechen die inneren Ecken der vertieften Bereiche entlang mindestens zwei gegenüberliegenden Seiten der Vertiefungen den Ecken der Substrate, wobei die Anordnung der Substrate in den Vertiefungen ermöglicht wird. Wenn gewünscht, können die inneren Kanten der Vertiefungen mit Trägern versehen werden, die zur Fixierung des Substrates dienen. Im letztgenannten Fall sind die breiten Wände der Reaktionskammer-Packung aus Substraten gebildet, die in der zentralen Öffnung der planaren Elemente angeordnet sind, wobei die Substrate so ausgerichtet werden können, dass sich beispielsweise die Substratoberflächen gegenüberliegen.

[0037] Die vorstehend beschriebenen Vorrichtungskonstruktionsdaten ermöglichen eine Gewichtsreduzierung des Reaktionsraumes und Reduzierung der Komponentenzahl in dem System auf ein Minimum. Die Länge der Gaszufluss- bzw. Gasabflussleitungen kann reduziert werden, indem der Reaktionsbereich so ausgestaltet wird, dass er vertikal oder horizontal gestapelte Reaktionsräume umfasst. Dies trifft insbesondere für den letztgenannten Fall zu, bei dem die Substrate selbst als breite Wände der Reaktionskammern dienen. Die Erfindung liefert erhebliche Vorteile bezüglich den ALE-Reaktoren des Standes der Technik. Das Impulskonzept der Ausgangsmaterialien, das darauf basiert, dass niemals zwei oder mehr unterschiedliche Ausgangsmaterialspezies gleichzeitig in das System transportiert werden, isoliert daher die Ausgangsmaterialien effektiv voneinander, wodurch deren vorzeitige gegenseitige Reaktion verhindert wird. Sollten derartige Reaktionen in der Gasphase erfolgen, würde eine CVD-Bildung einer Dünnschicht resultieren, wobei der Reaktor sich von den Betriebsbedingungen des ALE-Verfahrens unterscheidet und wobei der Reaktor nicht mehr ALE-Reaktor genannt werden kann. Tatsächlich verursachen die CVD-Bedingungen für die Bildung einer Dünnschicht in herkömmlichen ALE-Reaktoren häufig die Bildung/Abblättern von schädlichem Kleinstteilchenstaub.

[0038] Erfindungsgemäß wird das Risiko von CVD-Bildung einer Dünnschicht dadurch eliminiert, was eine tatsächlich oberflächenkontrollierte Bildung einer Dünnschicht nach sich zieht und infolgedessen ausgezeichnete ALE-Verfahrensqualitäten. Die erfindungsgemäße Vorrichtung realisiert tatsächlich die getrennten Reaktionsschritte, die ein wirkliches ALE-Verfahren kennzeichnen.

[0039] Die auf ein Minimum reduzierten Oberflächenbereiche und Volumina führen zudem die Menge an äußerst dünner Schichtbildung in den Leitungen auf ein Minimum zurück, wodurch die Menge an Staub/Abblättern und das Erfordernis zur Reinigung vermindert wird. Das kleine Gasvolumen mit optimierter Fluidynamik beschleunigt den Durchfluss der Gase und verbessert das Spülen von Gasen, die an den Reaktionen teilnehmen, was durch einen schnelleren Verfahrensablauf und eine verbesserte Qualität der Dünnschicht gezeigt ist.

[0040] Die Evakuierungsschritte und mögliche Komplementierungsschritte des Spülens mit einem inaktiven Gas tragen weiter zu einer wirksamen Entfernung von Molekülen bei, die an den inneren Wänden des Systems adsorbiert sind und verringern daher die Neigung der Moleküle zur Umsetzung mit der Molekülspezies des nachfolgenden Reaktandenimpulses.

[0041] Im Folgenden wird die Erfindung ausführlich unter Bezug auf die beigefügten Zeichnungen erläutert, in denen:

[0042] [Fig. 1](#) ein longitudinaler Schnitt der Seitenansicht einer vereinfachten Struktur für die Reaktionskammer-Packung einer ersten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist; und

[0043] [Fig. 2](#) ein longitudinaler Schnitt einer Seitenansicht einer vereinfachten Struktur für die Reaktionsraumkonstruktion einer zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsform ist.

[0044] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) umfasst die hier gezeigte Vorrichtungskonstruktion einen Reaktionsbe-

reich oder eine Reaktionskammer-Packung **1**, die aus jeweils identischen, gestapelten, planaren Elementen **10** zusammengesetzt ist, in der die Gasstromleitungen **7**, **4** und die Reaktionskammern **13** durch Öffnungen und Kerben in den planaren Elementen gebildet werden. Die Vorrichtung soll vier Reaktionskammern **13** beinhalten, die acht Substrate **12** darin enthalten, auf denen unter Verwendung des ALE-Verfahrens Dünnschichten gebildet werden. Das Bezugszeichen **3** bezeichnet die Verbindung der Reaktionskammer-Packung zu einer Leitung, die mit der Eingangsöffnung zu einer Pumpe in Verbindung steht. Die Verbindung steht mit der Abflussleitung **4** der Gasphasen Reaktionsprodukte und überschüssiger Reaktanden in Verbindung, wobei die Abflussleitung als Sammelleitungen für den Abfluss aus den Reaktionskammern dient. Das Bezugszeichen **2** bezeichnet daher die Einströmöffnung für die Gasphasen-Reaktanden, wobei die Einströmöffnung weiter mit der Reaktandenzuflussleitung **7** in Verbindung steht.

[0045] Die planaren Elemente werden mit einer umlaufenden Saugnut **5** zum Sammeln von ausgetretenem Gas versehen. Die Saugnut steht mit der Abflussleitung **4** in Verbindung. Der Zweck der Saugnut besteht darin, den Zutritt externer Verunreinigung in den Reaktionsraum zu verhindern und ein Austreten der Reaktanden aus dem Reaktionsraum zu verhindern. Die Nut dient daher als eine isolierende Gasdichtung für den Reaktionsraum.

[0046] Beim Stapeln der planaren Elemente wird eine Zwischenplatte **6** zwischen jeweils zwei übereinanderliegenden Elementen angeordnet, die zur Steuerung der Beschränkung des Gasstromes geeignet ist, indem der Querschnitt des Einlassschlitzes **8** aus der Zuflussleitung **7** in die Reaktionskammer **13** und der Querschnitt des Auslassschlitzes festgesetzt werden, d. h. eine Gasstrombeschränkung aus der Reaktionskammer zu der Ausströmleitung **4**.

[0047] Die obere Hälfte des obersten Teiles der Reaktionskammer dient als obere Platte **9** der Reaktionskammer-Packung und die untere Hälfte des unteren Bereiches der Reaktionskammer dient daher als Bodenplatte **11**, die auf einer Trägerbasis **17** befestigt ist. Zwischen der Deckplatte und der Bodenplatte werden drei jeweils identische, planare Elemente **10** gestapelt. Jedes planare Element bildet zuerst zusammen mit dem Substrat **13** die Wand zwischen zwei nebeneinander gestapelten Reaktionskammern, und zweitens zusammen mit den Zwischenplatten **6** und anderen Hilfsplatten die Zufluss- und Abflussleitungen **7**, **4**. Die Zahl planarer Elemente kann im Bereich von 0 bis 100 Stück variieren.

[0048] Die Zufluss-/Abflussleitungen **7**, **4** und die Reaktionskammern sind so ausgestaltet, dass sie longitudinal einen engen, rechteckigen Querschnitt aufweisen, um einen „abgeflachten“ Gasstrom zu erleichtern und das Volumen des Reaktionsbereiches zu minimieren.

[0049] In der in [Fig. 1](#) gezeigten Ausführungsform werden die Gasphasen-Reaktandenimpulse der unterschiedlichen Reaktandengruppen alternierend in die Zuflussleitung **7** eingebracht. Vor dem Einbringen werden die einströmenden Gasimpulse mit einem inaktiven Gasstrom in der Zuflussleitung **7** oder vorher homogenisiert. In der Zuflussleitung, in dem Diagramm als longitudinaler Schnitt gezeigt, strömt der Gasphasen-Reaktandimpuls abgeflacht in eine planare Form, die sich entlang der Leitung mit einer definierten Vorderfront fortsetzt. Die Strömungsfront besitzt eine Weite, die der des Substrates entspricht, was beispielsweise etwa 10 bis 30 cm beträgt, während die Dicke der Front etwa 1 bis 3 cm beträgt.

[0050] Der Strom, der in der Zuflussleitung strömt, wird unter den parallel gestapelten Reaktionskammern **13** gleichmäßig verteilt, indem der Reaktionsraum mit seinen Gasstrombeschränkungen so bemessen wird, dass die Strömungsleitung der Zuflussleitung **7** viel größer ist als die Strömungsleitung über die Reaktionskammern **13**. Der Strömungsweg durch jede Reaktionskammer muss eine Strömungsleitung aufweisen, die zu der der Gaswege über die anderen Kammern equivalent (gleich) ist. Dann sind der Druck und die Strömungsgeschwindigkeit zwischen den einzelnen Reaktionskammern ausgeglichen und die Bildungsgeschwindigkeit des Dünnschichtfilms in den jeweiligen Kammern ist daher ebenfalls gleich. In den Reaktionskammern **13** ist das Strömungsmuster aufgrund des engen Saugschlitzes **14** an dem Ausströmende der Reaktionskammer abgeglichen. Der Saugschlitz kann entweder aus einem einzelnen, durchgehenden Schlitz oder aus mehreren kleinen, parallelen Schlitzen bestehen, der/die in Richtung des Stromabflusses nach der großvolumigen Reaktionskammer **13**, die eine größere relative Strömungsleitung besitzt, als der/die Schlitz(e), liegt/liegen. Der Gasstrom neigt dann dazu, über den/die Schlitz(e) in einem gleichmäßig verteilten Muster auszutreten. In der Reaktionskammer **13** wird dies als ein gleichmäßiger Druckgradient über den Querschnitt der Front des voranschreitenden Gasimpulses gezeigt, was eine gleichmäßig fortschreitende Gasfront bedeutet. In Untersuchungen (mit verminderter Reaktandmenge) wurde gefunden, dass die Gasfront eine äußerst gerade Kontur aufweist.

[0051] Ein gleichmäßiges Ausströmmuster des Gases über den Querschnitt sicherzustellen ist äußerst wichtig.

tig, da die Gasmoleküle dazu neigen, in Richtung des geringsten Druckes (die wirksamste Saugwirkung) zu wandern, wobei die gerade Gasfront gestört wird, wenn sie einer nicht homogenen Saugwirkung unterworfen wird. Darüber hinaus führt eine homogene Saugwirkung dazu, dass eine aufgrund anderer möglicher Gründe gestörte Gasfront abgeglichen wird.

[0052] Nach dem Austreten der Gasphasen-Reaktanden aus der Reaktionskammer und insbesondere aus dem Reaktionsbereich wird deren mögliches Vermischen, wie vollständig auch immer, dem gebildeten Dünnfilm keinen Schaden zufügen.

[0053] Unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) ist eine Ausführungsform gezeigt, die von der vorstehend beschriebenen etwas verschieden ist. Die Legende der Bezugszeichen in dem Diagramm ist wie folgt:

Bezugszeichenliste

- 21** Reaktionskammer-Packung
- 22** Zuflussleitungsöffnung für Ausgangsmaterialien der Gruppe A
- 23** Zuflussleitungsöffnung für Ausgangsmaterialien der Gruppe B
- 24** Verbindung für die Leitung, die mit der Saugöffnung der Pumpe in Verbindung steht
- 25** Sammelabflussleitung für die Abflussschlitze aus den parallel gestapelten Reaktionskammern
- 26** Saugnut, die die planaren Elemente zum Sammeln von eventuell ausgetretenem Gas umgibt, wobei die Saugnut mit der Sammelabflussleitung in Verbindung steht
- 27** Zwischenplatte, die dazu dient, die Abflussschlitzhöhe festzusetzen, d. h. eine Gasstrombeschränkung. Zusätzlich zu deren Funktion als Festlegung der Abflussbeschränkung bildet die Zwischenplatte eine Aufprallplatte, die die unterschiedlichen Ausgangsmaterialgruppen an der Zuflussseite trennt.
- 28** Zuflussleitung für Ausgangsmaterialien der Gruppe B
- 29** Zuflussleitung für Ausgangsmaterialien der Gruppe A
- 30** Zuflussleitung, die zur Verteilung der Ausgangsmaterialströme zu den parallelen Reaktionskammern dient
- 31** Deckplatte und eine Hälfte des obersten Teiles der Reaktionskammer
- 32** 0–100 Stück identische, planare Elemente. Jedes planare Element bildet mit dem Substrat die Trennwand zwischen zwei übereinanderliegenden Reaktionskammern, sowie zusammen mit den Zwischenplatten und den anderen Hilfsplatten die Zufluss- und Abflussleitungen
- 33** Bodenplatte und eine Hälfte des untersten Teiles der Reaktionskammer
- 34** Oberste Platte der Trägerbasis
- 35** Mittelplatte der Trägerbasis
- 36** Tiefstgelegene Platte der Trägerbasis
- 37** Substrate
- 38** Reaktionskammer
- 39** Beschränkung für den Gasstrom, der das Substrat verlässt.

[0054] Die in [Fig. 2](#) gezeigte Ausführungsform wird in der gleichen Art und Weise verwendet, wie in [Fig. 1](#) erläutert ist. Diese Konstruktion unterscheidet sich jedoch von der ersten Ausführungsform dahingehend, dass die Ausgangsmaterialien der unterschiedlichen Reaktandengruppen entlang ihrer eigenen Zuflussleitungen bis zu den Zuflussschlitzen der Reaktionskammer geführt werden. Die Reaktionskammer-Packung ist daher auf ein derartiges Trägerbasis-Plattenset **34** bis **36** angeordnet, das nach deren Stapelung individuelle Strömungsleitungen **22**, **23** für die Reaktanden der unterschiedlichen Ausgangsmaterialgruppen liefert. In ähnlicher Art und Weise strömen die Reaktanden in ihren jeweiligen Zuflussleitungen **28**, **29** an die Seite der Reaktionskammer-Packung.

[0055] Die Gase werden aus den Zuflussleitungen **28**, **29**, die durch die aus den Zwischenplatten gebildeten Aufprallplatten **27** getrennt sind, eingebracht, wobei die Höhe der Reaktionskammer so bemessen ist, dass die Diffusion ein wirksames Vermischen der Ströme bewirkt, die aus den unterschiedlichen Leitungen kommen. Obwohl die Diffusion eine zu langsame Mischmethode ist, um in Richtung der Weite des abgeflachten Gasstrommusters verwendet zu werden, wirkt sie in Höhenrichtung gut. Wenn daher der Reaktand aus beispielsweise einer Zuflussleitung **28** eingebracht wird, wird das inaktive Gas aus der anderen Leitung **29** eingebracht. Beim Auftreten auf die Aufprallplatten werden die Reaktandenströme bzw. inaktiven Gasströme abgeflacht, was zu einem planaren Strömungsmuster führt, wobei sie während ihres Mischens in dem Zuflussschlitz der Reaktionskammer homogenisiert werden.

[0056] Die Zuflussleitungen **22**, **23** und die Zuflussleitungen **28**, **29** können beispielsweise einen ringförmigen

Querschnitt aufweisen und die Reaktand-Gasströme werden bereits an den Aufprallplatten in eine aufgefächerte und abgeflachte Form verteilt.

[0057] Analog zu der ersten Ausführungsform ist es äußerst wichtig, ein abgeglichenes Abflussmuster der Gasfront über den Querschnitt sicherzustellen.

[0058] Zu [Fig. 2](#) muss noch erwähnt werden, dass die Lage der Zuflussleitungen **28** und **29** zur Klarheit etwas versetzt wurden. In einer praktischen Ausführungsform werden diese Zuflussleitungen parallel angeordnet, d. h. in lateraler Richtung benachbart, wobei deren Einströmöffnungen in die Reaktionskammer bezüglich des Substrates in der gleichen Entfernung liegt.

Beispiel

[0059] Das folgende Beispiel beschreibt die Konstruktionsprinzipien für die Pumpe der in [Fig. 1](#) gezeigten Vorrichtung bzw. das Intervall zwischen den nachfolgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen, das ein erfindungsgemäßes Verhalten der Vorrichtung bewirkt:

Substratgröße	300 × 300 mm ²
Anzahl an Substraten	10 Stück
Anzahl an Reaktionskammern	5 Stück
Abstand zwischen Substraten	4 mm
Gesamtvolumen der Reaktionskammern	5 × 300 × 300 × 4 mm ³ = 18.000 cm ³
Abmessungen/Volumen der Zuflussleitungen	300 × 10 × 100 mm = 300 cm ³
Abmessungen/Volumen der Abflussleitungen	300 × 10 × 100 mm = 300 cm ³
Gesamtvolumen	18.600 cm ³ oder ungefähr 19 l.

[0060] Die Pumpenkapazität wird mit 360 m³/Std. oder 360 × 1000/3600 (l/s) = 100 l/s gewählt. Das vorstehend berechnete Gesamtgasvolumen kann daher mit einer so dimensionierten Pumpe in etwa 0,2 s evakuiert werden.

[0061] Eine Pumpe mit der vorstehend berechneten Kapazität benötigt eine Pumpenleitung mit einem inneren Durchmesser von 76 mm, die ein Volumen pro Längeneinheit von $\pi \times 0,38 \times 0,38 \times 10 \text{ dm}^3 = 4,07 \text{ l/min}$ aufweist. Dies bedeutet, dass dann, wenn die Länge der Pumpenleitung aus der Reaktionskammer-Packung zu der Abflussverbindung der Vorrichtung beispielsweise 1 m beträgt, deren Evakuierung zusätzlich 0,04 s beträgt.

[0062] Das Intervall zwischen den Reaktandimpulsen in dem vorstehenden Beispiel wird mit etwa 0,25 s gewählt, was ausreichend Zeit für eine einmalige Evakuierung des gesamten Gasvolumens der Vorrichtung während des Intervalls zwischen zwei aufeinander folgenden Reaktandimpulsen ist. Durch Ausdehnen des Intervalls zwischen den Impulsen auf beispielsweise 1 s kann das Gasvolumen etwa viermal evakuiert werden. In diesem Fall kann vorteilhaft ein inaktives Gas in den Reaktionsraum während der Evakuierung eingebracht werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildung einer Dünnschicht auf einem Substrat, wobei ein in einem Reaktionsraum (**1; 21**) angeordnetes Substrat alternierend wiederholten Oberflächenreaktionen von mindestens zwei Gasphasen-Reaktanden unterworfen wird, um eine Dünnschicht zu bilden, welches umfasst:
 die Reaktanden in Form von Gasphasenimpulsen wiederholt und alternierend, jeder Reaktand gesondert von seiner eigenen Quelle, in den Reaktionsraum (**1; 21**) einzubringen, und
 die Gasphasen-Reaktanden mit der Oberfläche des Substrates zur Bildung einer Festphasendünnschicht-Verbindung auf dem Substrat zur Umsetzung zu bringen,
dadurch gekennzeichnet,
 dass das Gasvolumen des Reaktionsraums zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen evakuiert wird, wobei gleichzeitig mit der Evakuierung des Reaktionsraums von den Rückständen des letzten Gasphasen-Reaktandimpulses ein inertes Gas in den Reaktionsraum (**1; 21**) eingebracht wird, so dass vor dem Zufluss des nachfolgenden Gasphasenimpulses die restlichen Komponenten des vorhergehenden Gasphasen-Reaktandimpulses, die in dem Reaktionsraum oder an den Wänden desselben verbleiben, in einer

Menge von weniger als 1% vorhanden sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gasvolumen des Reaktionsraums (**1; 21**) während des Intervalls zwischen den Gasphasen-Reaktandimpulsen mindestens zweimal evakuiert wird, vorzugsweise drei- bis zehnmal.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Gasvolumen des Reaktionsraumes (**1; 21**) evakuiert wird, so dass vor dem Zufluss des nachfolgenden Gasphasenimpulses die restlichen Komponenten des vorhergehenden Gasphasen-Reaktandimpulses, die in dem Reaktionsraum verbleiben, weniger als 1‰ vorhanden sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Pumpe (**3; 24**) mit dem Reaktionsraum verbunden wird, die eine Volumenkapazität aufweist, die während des Intervalls zwischen zwei aufeinanderfolgenden Gasphasen-Reaktandimpulsen erheblich größer ist als das Gasvolumen des Reaktionsraums.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Reaktand über einen getrennten Zuflussweg (**22, 29; 23, 28**) in den Reaktionsraum eingebracht wird, um das aus dem Reaktionsraum zu evakuierende Gasvolumen auf ein Minimum zu reduzieren.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Gasphasen-Reaktandimpuls vor dessen Eintritt in den Reaktionsraum mit dem Strom des inerten Gases gemischt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Reaktionsraum verwendet wird, der eine Reaktionskammer (**13; 38**) umfasst, in der das Substrat wird, und weiter Gasstromleitungen (**7, 8, 14** und **4; 22, 23, 28, 29, 25** und **24**) aufweist, die mit der Reaktionskammer in Verbindung stehen, wobei die Gasstromleitungen für den Zufluss des Gasphasen-Reaktandimpulses in die Reaktionskammer geeignet sind und entsprechend für den Abfluss der nicht umgesetzten Komponenten des Reaktandimpulses aus der Reaktionskammer, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil der Gasstromleitungen einen engen länglichen Querschnitt aufweist, um das Volumen des Reaktionsraums auf ein Minimum zu reduzieren.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 7, wobei ein Reaktionsraum verwendet wird, der eine Reaktionskammer (**13; 38**) umfasst, in der das Substrat wird, und weiter Gasstromleitungen (**7, 8, 14** und **4; 22, 23, 28, 29, 25** und **24**) aufweist, die mit der Reaktionskammer in Verbindung stehen, wobei die Gasstromleitungen für den Zufluss der Gasphasen-Reaktandimpulse in die Reaktionskammer geeignet sind und folglich für den Abfluss der nicht umgesetzten Komponenten des Reaktandimpulses aus der Reaktionskammer, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionskammer (**13; 38**) einen engen, länglichen Querschnitt aufweist, um das Volumen des Reaktionsraums auf ein Minimum zu reduzieren.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasphasen-Reaktandimpulse über Gasstromleitungen (**7, 8, 14** und **4; 22, 23, 28, 29, 25** und **24**), die einen engen, länglichen Querschnitt aufweisen, eingebracht werden, um im Wesentlichen planare Impulse von Gasphasen-Reaktanden zu bilden und das Vermischen des Gasphasen-Reaktandstromes mit einem Trägergasstrom zu verbessern.

10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasphasen-Reaktandimpulse über deren individuelle Zuflussleitungen (**22, 29; 23, 28**) direkt in die Reaktionskammer eingebracht werden, wobei der Gasphasenimpuls vor Inkontaktbringen des Reaktanden mit dem Substrat mit einem Trägergasstrom vermischt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasphasen-Reaktandimpulse in laminarer Strömung in die Reaktionskammer eingebracht werden.

12. Vorrichtung zur Bildung von Dünnschichten auf einem Substrat, in der das Substrat alternierend wiederholten Oberflächenreaktionen von Gasphasen-Reaktanden unterworfen ist, um eine Festphasendünnschicht auf dem Substrat zu bilden, welche umfasst:

– einen Reaktionsraum (**13; 38**), in dem das Substrat angeordnet ist,
– Zuflussleitungen (**7; 22, 29; 23, 28**), die mit dem Reaktionsraum in Verbindung stehen, wobei die Leitungen zum Einbringen der in einem Verfahren zur Bildung von Dünnschichten verwendeten Reaktanden und von einem inerten Gas in Form von Gasphasenimpulsen in den Reaktionsraum geeignet sind, und
– Reaktanden-Abflussleitungen (**4; 25**), die mit dem Reaktionsraum in Verbindung stehen, wobei die Leitungen für den Abfluss der Reaktionsprodukte und überschüssiger Reaktanden-Mengen aus dem Reaktionsraum geeignet sind,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Abflussleitungen (**4; 25**) mit einer Verbindung (**3; 24**) zu einer Pumpe versehen sind, die geeignet ist, den Reaktionsraum zu evakuieren, und wobei die Pumpe eine Volumenkapazität aufweist, die ausreicht, um das Gasvolumen des Reaktionsraumes mindestens einmal pro Sekunde zu evakuieren, so dass vor dem Zufluss des nachfolgenden Gasphasenimpulses die restlichen Komponenten des vorhergehenden Gasphasen-Reaktandimpulses, die in dem Reaktionsraum oder an den Wänden desselben verbleiben, in einer Menge von weniger als 1% vorhanden sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpe eine Volumenkapazität aufweist, die ausreicht, um das Gasvolumen des Reaktionsraumes mindestens zweimal pro Sekunde zu evakuieren.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, welche eine Reaktionskammer (**13; 38**) umfasst, in der das Substrat angeordnet ist, und weiter Gasstromleitungen aufweist, (**7, 8, 14** und **4; 22, 23, 28, 29, 25** und **24**), die mit der Reaktionskammer in Verbindung stehen, wobei die Gasstromleitungen für den Zufluss der Gasphasen-Reaktandimpulse in die Reaktionskammer und entsprechend für den Abfluss der Reaktionsprodukte des Verfahrens zur Bildung einer Dünnschicht und der überschüssigen Mengen der Reaktandimpulse aus der Reaktionskammer geeignet sind, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Teil der Gasstromleitungen einen engen, länglichen Querschnitt aufweist, um das Volumen des Reaktionsraumes auf ein Minimum zu reduzieren.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionskammer (**13; 38**) einen engen, länglichen Querschnitt aufweist, um das Volumen des Reaktionsraumes auf ein Minimum zu reduzieren.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

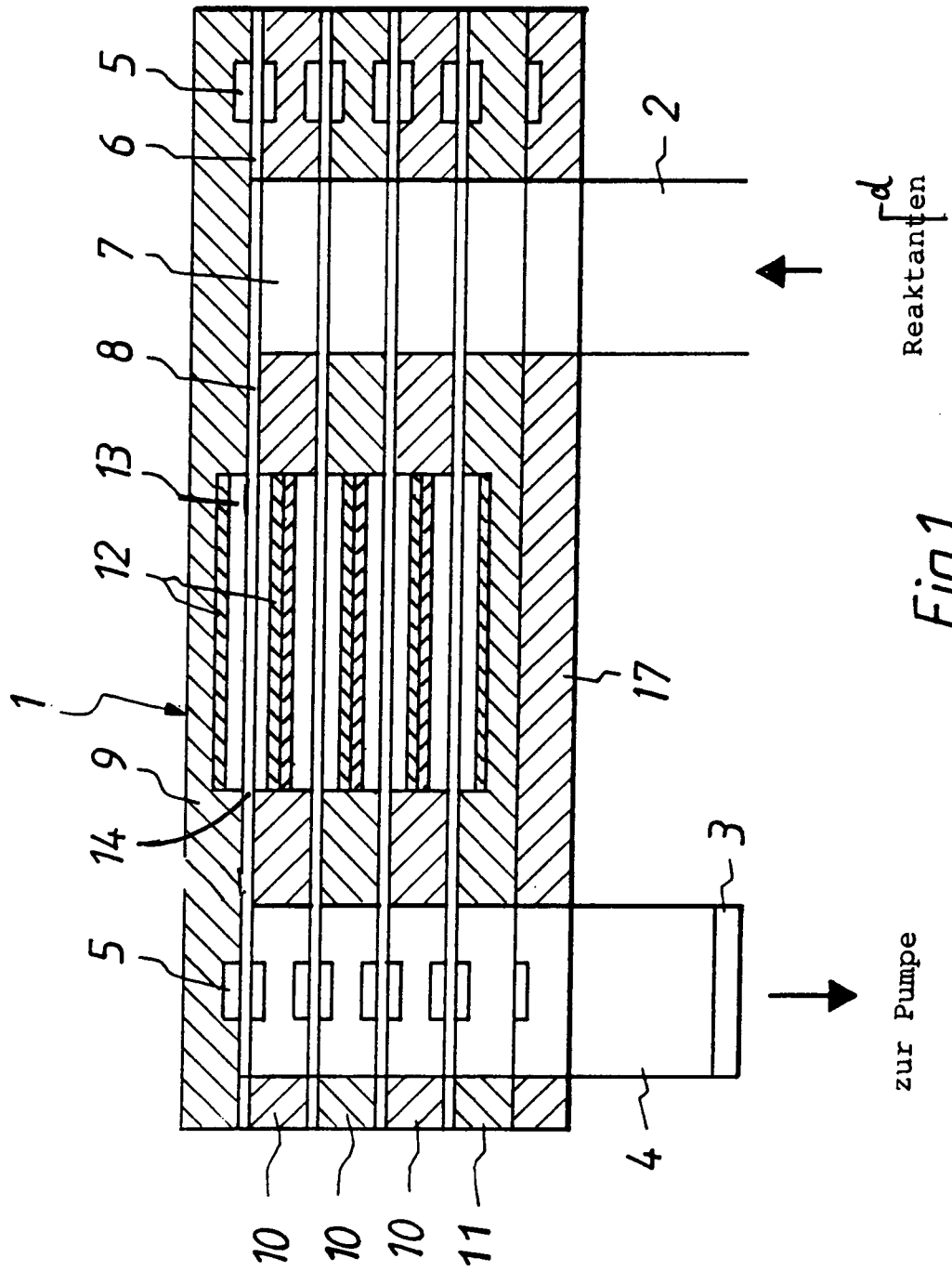


Fig.1

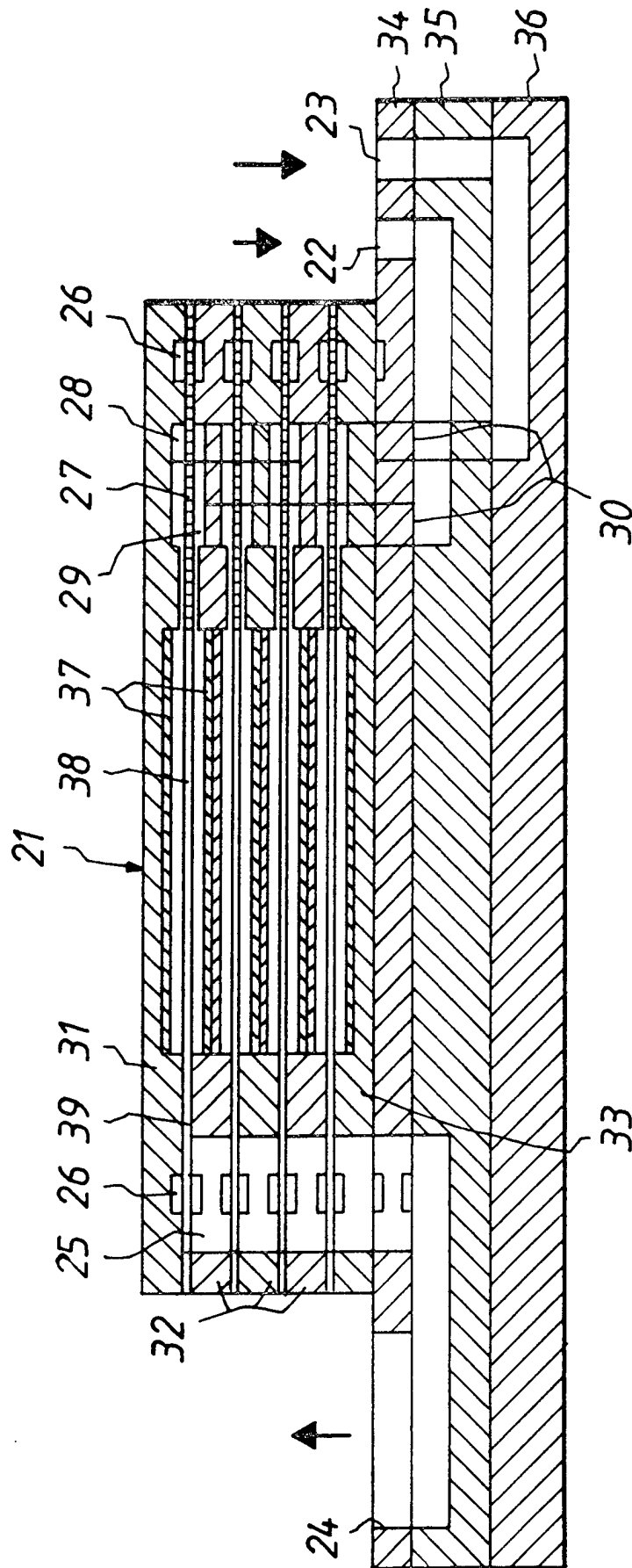


Fig. 2